

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

(повна назва інституту/факультету)

**КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

(повна назва кафедри)

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

Владислав ШЛИКОВ  
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломна робота**  
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою Клінічна інженерія  
(назва)

спеціальності 163 Біомедична інженерія  
(код та назва)

на тему: «Біомедичний твердоелектролітний переносний газоаналізатор  
кисню»

Виконав: студент 4 курсу, групи БМ-62  
(шифр групи)

Болдарев Руслан Даніїлович  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник доцент каф. БМІ, к. т. н. Богомолів Микола Федорович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультанти доцент каф. ОППЦБ, к. т. н. Демчук Гліб Вікторович  
доцент каф. надійності техніки, к. т. н. Троц Адам Адамович  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Нормоконтроль ст. викл. каф. БМІ Юр'єва Катерина Олександрівна  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Рецензент ст. викл. каф. ТМБ, к.т.н. Луценко Тетяна Миколаївна  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020

# Національний технічний університет України

## «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет	<u>Біомедичної інженерії</u>
Кафедра	<u>Біомедичної інженерії</u>
Рівень вищої освіти	<u>Перший (бакалаврський)</u>
Спеціальність	<u>163 Біомедична інженерія</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Клінічна інженерія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

Владислав ШЛИКОВ  
(підпис) (Власне ім'я,

ПРИЗВИЩЕ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

### на дипломну роботу студенту

Болдареву Руслану Даніловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Біомедичний твердоелектролітний переносний газоаналізатор кисню»,  
керівник роботи: Богомолів Микола Федорович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. № 1191-с
2. Термін подання студентом роботи «08» червня 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи: література про різні види існуючих систем газоаналізаторів; графічний редактор Paint; матеріали для створення дослідницького зразка газоаналізатора, обладнання (герметична камера, кисневі балони, вольтметр) для експериментальних досліджень.
4. Зміст дипломної роботи: огляд та аналіз сучасних систем газоаналізаторів; огляд технічних характеристик приладу, його будови та принципу дії; розробка дослідницького зразка та проведення його досліджень за допомогою герметичної камери, кисневих балонів та вольтметра; підрахунок теоретичних значень, їх порівняння з експериментальними значеннями.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Демчук Г. В., доцент кафедри охорони праці, промисловості та цивільної безпеки		
Теоретична частина, практична частина	Троц А. А., доцент кафедри надійності техніки		

7. Дата видачі завдання 13.04.2020 \_\_\_\_\_

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз науково-технічних джерел	13.04.2020-19.04.2020	
2	Розробка схеми електрохімічного газоаналізатора	20.04.2020-27.04.2020	
3	Розробка дослідницького зразка газоаналізатора	28.04.2020-03.05.2020	
4	Проведення експериментальних досліджень дослідницького зразка	04.05.2020-10.05.2020	
5	Аналіз результатів експерименту	11.05.2020-17.05.2020	
6	Оформлення розділу «Охорона праці»	18.05.2020-03.06.2020	
7	Отримання рецензії та відгуку	04.06.2020-05.06.2020	
8	Здача роботи на нормоконтроль	05.06.2020	
9	Захист дипломної роботи	15.06.2020-19.06.2020	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
Руслан БОЛДАРЕВ

(Власне ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
Микола БОГОМОЛОВ

(Власне ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

Обсяг дипломної роботи складає за обсягом 50 сторінок, містить 17 ілюстрацій, 14 таблиць, проаналізовано 34 літературних джерела.

Актуальність: сучасна медицина активно використовує кисень в інтенсивній терапії. Кисень застосовується для інгаляцій в сумішах з повітрям або вуглекислим газом, в анестезіології - в суміші з інгаляційними наркотичними анальгетиками; чистим киснем користуються при ослабленні дихання в постопераційному періоді і т. д. Для приготування таких сумішей треба контролювати потрібну концентрацію кисню в їх складі. Тому слід застосовувати широкодіапазонний електрохімічний датчик, що буде чітко вимірювати парціальний тиск кисню у суміші завдяки наявності 100% чистого за киснем порівняльного електроду. Такий датчик може застосовуватися у випадку приготування особливих розчинів у приміщеннях, де потребується надзвичайно чиста атмосфера, та для контролю концентрації кисню у палатах та кабінетах для комфортного перебування пацієнтів та персоналу.

Мета роботи: дослідження можливості створення переносного газоаналізатору кисню, побудованому на твердоелектролітному комбінованому вимірювальному перетворювачі, а саме розробка і експериментальне дослідження зразка переносного газоаналізатору.

Завдання:

- аналіз науково-технічних джерел;
- розробка схеми електрохімічного газоаналізатора;
- розробка дослідницького зразка газоаналізатора;
- проведення експериментальних досліджень зразка;
- аналіз результатів експерименту.

Ключові слова: твердоелектролітний, концентрація кисню, 100% газовий електрод порівняння, ЕДС Нернста, парціальний тиск.

## ANNOTATION

The volume of the diploma is 50 pages, contains 17 illustrations, 2 tables. A total of 17 sources were processed.

Relevance: modern medicine actively uses oxygen in intensive care. Oxygen is used for inhalation in mixtures with air or carbon dioxide, in anesthesiology - in a mixture with inhaled narcotic analgesics; pure oxygen is used when breathing is weakened in the postoperative period, etc. To prepare such mixtures, it is necessary to control the desired concentration of oxygen in that mixtures. Therefore, a wide-range electrochemical sensor should be used that will accurately measure the partial pressure of oxygen in the mixture due to the presence of a 100% pure oxygen reference electrode. Such a sensor can be used in the preparation of special solutions in rooms where an extremely clean atmosphere is required, and to monitor the oxygen concentration in wards and offices for a comfortable stay of patients and staff.

Purpose: to study the possibility of creating a portable oxygen gas analyzer which based on a solid electrolyte combined measuring transducer, namely the development and experimental study of a sample portable gas analyzer.

Task:

- analysis of scientific and technical sources;
- development of the scheme of the electrochemical gas analyzer;
- development of a research sample of a gas analyzer;
- conducting experimental research of a research sample;
- analysis of the results of the experiment.

Key words: solid electrolyte, oxygen concentration, 100% gas reference electrode, Nernst EMF, partial pressure.

## ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....	10
1.1 Загальний огляд існуючих газоаналітичних систем.....	10
1.1.1 Термокондуктометричні газоаналізатори.....	10
1.1.2 Термохімічні газоаналізатори.....	12
1.1.3 Магнітні газоаналізатори .....	13
1.1.4 Інфрачервоні газоаналізатори.....	15
1.1.5 Струменеві газоаналізатори.....	17
1.2 Лямбда-зонд. Принцип дії електрохімічного кисневого датчику.....	18
Висновки до розділу 1 .....	21
РОЗДІЛ 2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	23
2.1 Загальний огляд твердоелектролітного комбінованого вимірювального перетворювача.....	23
2.1.1 Технічні характеристики ТЕКВП .....	23
2.1.2 Будова потенціометричної зони (осередку) .....	25
2.1.3 Будова кулонометричної зони (осередку) .....	26
2.2 Технологія виготовлення дослідницького зразка .....	27
2.3 Метод вимірювання за кисневим 100% електродом.....	35
Висновки до розділу 2 .....	38
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	39
3.1 Характеристики об'єкту, що проектується .....	39
3.1.1 Характеристики об'єкту .....	39
3.1.2 Складові частини об'єкту.....	40
3.1.3 Характер взаємодії об'єкту в системі «людина – об'єкт» .....	41

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>			
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Болдарев Р. Д.			Біомедичний твердоелектролітний переносний газоаналізатор кисню	Літ.	Лист	Листів
Перевірів		Богомолов М. Ф.						
Реценз.		Луценко Т. М.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБМІ БМ-62		
Н. Контр.		Юр'єва К. О.						
Затвердив		Шликов В. В.						

3.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються конструкцією об'єкту, який проектується, та заходи їх усунення. ....	41
3.2.1 Теплові джерела небезпеки.....	41
3.2.2 Небезпека враження людини електричним струмом.....	42
3.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки при експлуатації спроектованого об'єкту» .....	44
Висновки до розділу 3 .....	45
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТЕКВП – твердо електролітний комбінований вимірювальний перетворювач

ІЧ – інфрачервоний

ЕРС – електрорушійна сила

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВСТУП

Неможливо уявити сучасні медичні установи, які не використали б в інтенсивної терапії медичний кисень ( $O_2$ ). Кисень застосовується для інгаляції в концентрації 40-60% в суміші з повітрям або суміш 95% кисню і 5% вуглекислого газу; в анестезіології кисень застосовується в суміші з інгаляційними наркотичними анальгетиками; чистим киснем і його сумішшю з вуглекислим газом користуються при ослабленні дихання в постопераційному періоді; кисень застосовується при інтоксикаціях.

Для приготування таких сумішей слід контролювати концентрацію кисню в них. Тому слід застосовувати широкодіпазонний високоточний спеціальний датчик, що буде чітко вимірювати процентне відношення кисню до всієї суміші завдяки наявності 100% чистого за киснем порівняльного електроду. Тобто, знати парціальний тиск кисню.

Зокрема, такий датчик може застосовуватися у випадку приготування особливих розчинів у приміщеннях, де потребується надзвичайно високочиста атмосфера, та для контролю концентрації кисню у палатах та кабінетах для комфортного перебування пацієнтів та персоналу.

У даній бакалаврській роботі проведено дослідження можливості і доцільності створення газоаналітичної системи контролю концентрації кисню в газовій суміші за допомогою твердоелектролітного комбінованого вимірювального перетворювача.

					БМ62.01.2505.1191	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Загальний огляд існуючих газоаналітичних систем

Газоаналізатори – це прилади, що вимірюють концентрацію одного чи декількох компонентів на фоні конкретної газової суміші в нормованих умовах. Наряду з використанням окремих газоаналізаторів будуються системи газового контролю, що об'єднують десятки таких приладів. В більшості випадків робота газоаналізатора неможлива без ряду допоміжних приладів, що забезпечують створення необхідних температури та тиску, очистки газової суміші від пилу та смол [1].

#### 1.1.1 Термокондуктометричні газоаналізатори

В основі роботи термокондуктометричних газоаналізаторів лежить вимір теплопровідності газів - при зміні складу газової суміші змінюється теплопровідність, і як наслідок - опір в терморезисторах. Отримані на виході дані дозволяють шаблонно визначити склад конкретних компонентів газової суміші. Термокондуктометричні газоаналізатори дозволяють вимірювати газові суміші, що складаються з декількох компонентів. Для більшості практично важливих випадків справедлива формула 1.1:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot C_i, \quad (1.1)$$

де  $\lambda$  – теплопровідність суміші;

$\lambda_i$  – теплопровідність  $i$  – того компонента;

					БМ62.01.2505.1191	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$C_i$  – його концентрація;

$n$  – число компонентів.

Термокондуктометричні газоаналізатори не мають високої вибіркової та використовуються в тому разі, якщо компонент, що контролюється по теплопровідності, значно відрізняється від решти, наприклад для визначення концентрацій  $H_2$ ,  $He$ ,  $Ar$ ,  $CO_2$  в газових сумішах, що містять  $N_2$ ,  $O_2$  та інше. Діапазон вимірювання – від одиниць до десятків процентів по об'єму [2]. На рисунку 1.1 приведена схема, що застосовується в термокондуктометричних газоаналізаторах. Чутливі елементи  $R_1$  та  $R_3$  (робочі терморезистори) омиваються сумішшю, що аналізується; порівняльні терморезистори  $R_2$  та  $R_4$  розміщені в герметичних ячейках, що заповнені зразковим газом точно відомого складу. Потенціометри  $R_0$  та  $R_d$  призначені для встановлення нульових показань та регулювання діапазона вимірювання.

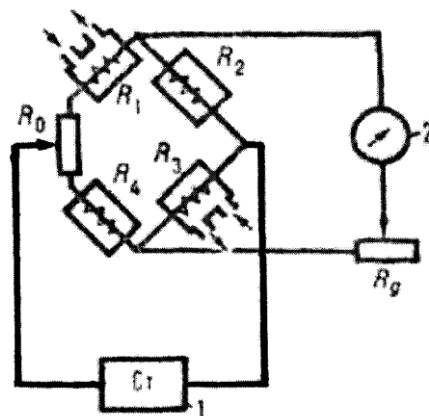


Рисунок 1.1 – Термокондуктометричний газоаналізатор:

1 – джерело стабілізованої напруги; 2 – вторинний прилад

Мірою концентрації компонента є електричний струм, що проходить через  $R_d$ , котрий вимірюється вторинним приладом. Термокондуктометричні газоаналізатори широко застосовуються для контролю процесів у виробництві  $H_2SO_4$ ,  $NH_3$ ,  $HNO_3$ , в металургії [3].

### 1.1.2 Термохімічні газоаналізатори

В цих приладах вимірюють тепловий ефект хімічної реакції, в якій приймає участь компонент, концентрація якого визначається. В більшості випадків використовується окиснення компонента киснем повітря; каталізатори – марганцево-мідний чи дрібнодисперсна платіна. Зміну температури при окисненні вимірюють з допомогою металевого чи напівпровідникового терморезистора. В ряді випадків поверхню платиного терморезистора використовують як каталізатор. Величина  $\Delta t$  визначається за формулою 1.2 [2]:

$$\Delta t = k \cdot M \cdot q, \quad (1.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує втрати тепла, які залежать від конструкції приладу;

$M$  – число молей окисненого компонента;

$q$  – тепловий ефект.

Схема, що представлена на рисунку 1.2, містить міст із постійними резисторами ( $R_1$  та  $R_4$ ) та двома терморезисторами, один з яких ( $R_2$ ) знаходиться в середовищі порівняльного газу, а інший ( $R_3$ ) омивається потоком газу, що аналізується. Напруга  $U_{\text{вих}}$  в діагоналі моста пропорційна концентрації компонента. Для стійкої роботи газоаналізатора виключають вплив температури середовища, стабілізують напругу, підтримують постійними витрати газу, очищують його від домішок, що отруюють каталізатор ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HC}_1$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ).

					БМ62.01.2505.1191	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

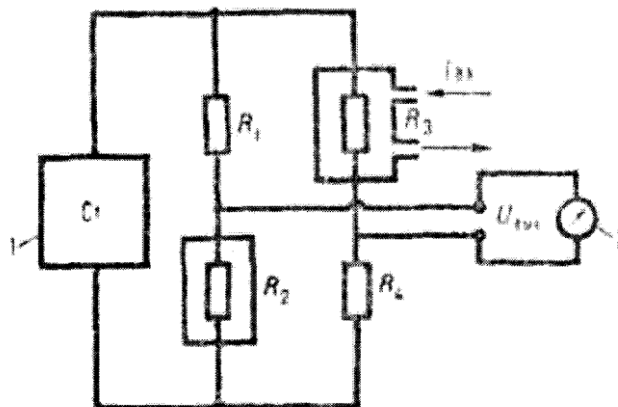


Рисунок 1.2 – Термохімічний газоаналізатор:

1 – джерело стабілізованої напруги; 2 – вторинний прилад

Більшість термохімічних газоаналізаторів використовують в якості газосигналізаторів горючих газів та пари в повітрі при вмісті 20% від їх нижчих гранично допустимих концентрацій, а також при електролізі води для визначення частки водню в кисні (діапазон вимірювання 0,02-2%) та кисню у водні (0,01-1%) [3] .

### 1.1.3 Магнітні газоаналізатори

Застосовуються для визначення  $O_2$ . Їх дія побудована на залежності магнітного сприйняття газової суміші від концентрації  $O_2$ , об'ємне магнітне сприйняття котрого на два порядки більше, ніж у більшості інших газів. Такі газоаналізатори дозволяють вибірково визначати  $O_2$  в складних газових сумішах. Діапазон концентрацій що вимірюються: 0,01%..100%. Найбільш розповсюджені магнітомеханічні та термомагнітні газоаналізатори.

В магнітомеханічних газоаналізаторах вимірюють сили, що діють в неоднорідному магнітному полі на тіло що помістили в аналізуючи суміш. Сила  $F$ , що виштовхує тіло з магнітного поля, визначається за формулою 1.3 [1]:

$$F = (x - x_m) \cdot \int_0^V H \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \cdot dV, \quad (1.3)$$

де  $x$  та  $x_m$  – об'ємне магнітне сприйняття відповідає суміші, що аналізується, і тіла в газі;

$V$  – об'єм тіла;

$H$  – напруженість магнітного поля.

Зазвичай, мірою концентрації компонента служить момент обертання, що знаходиться за кутом повороту ротора. Показання магнітомеханічних газоаналізаторів визначаються магнітними властивостями газової суміші, що аналізується та залежать від температури та тиску, оскільки останні впливають на об'ємне магнітне сприйняття газу. Схема магнітного газоаналізатору представлена на рисунку 1.3.

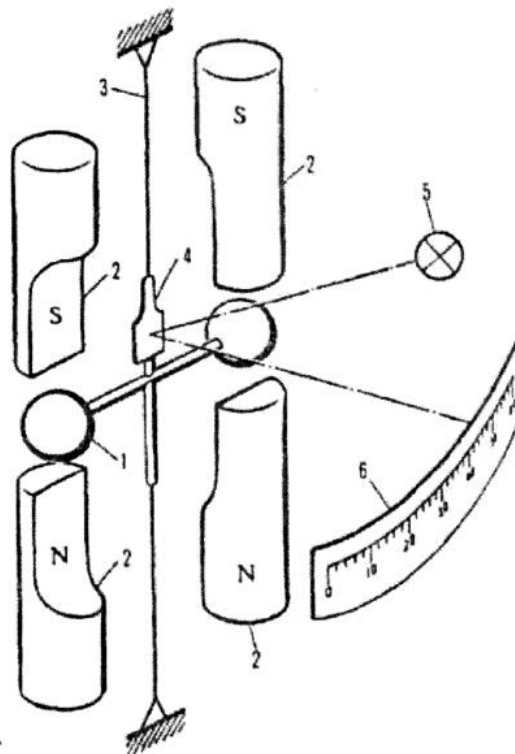


Рисунок 1.3 – Магнітомеханічний газоаналізатор:

1 – ротор; 2 – полюса магніта; 3 – розтяжка;

4 – дзеркальце; 5 – освітлювач; 6 – шкала вторинного приладу

Більш точні газоаналізатори виконані по компенсаційній схемі. В них момент обертання ротора, функціонально пов'язаний з концентрацією  $O_2$  в суміші, що аналізується, врівноважується відомим моментом, для створення якого використовуються магнітоелектричні чи електростатичні системи. Роторні газоаналізатори ненадійні в промислових умовах [22].

#### 1.1.4 Інфрачервоні газоаналізатори

Їх дія заснована на вибіркового поглинанні молекулами газів та парів інфрачервоного випромінювання в діапазоні 1 – 15 мкм. Це випромінювання поглинають всі гази, молекули яких складаються не менше ніж з двох різних атомів. Висока специфічність молекулярних спектрів поглинання різноманітних газів обумовлює високу вибіковість таких газоаналізаторів та їх широке застосування в лабораторіях та промисловості. Діапазон вимірюваних концентрацій  $10^{-3}$  – 100 %. У дисперсійних газоаналізаторах використовують випромінювання однієї довжини хвилі, що отримують з допомогою монохроматорів (призми, дифракційної решітки). У недисперсійних газоаналізаторах за допомогою особливостей оптичної схеми приладу (застосування світлофільтрів, спеціальних приймачів випромінювання і т.д.), використовують немонахроматичне випромінювання [30]. В якості прикладу на рисунку 1.4 приведена найбільш поширена схема ІЧ газоаналізатора. Випромінювання від джерела послідовно проходить через світлофільтр та робочу кювету, в яку подається суміш, що аналізується, та потрапляє у спеціальний приймач. Якщо в суміші, що аналізується, присутній потрібний компонент, то, в залежності від концентрації, він поглинає частину випромінювання і сигнал, що реєструється, пропорційно змінюється. Джерелом випромінювання широкого спектру зазвичай слугує нагріта спіраль, рідше – ІЧ-лазер чи світлодіод, що випромінюють вузьку

					БМ62.01.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

область спектра. Якщо використовується джерело немонохроматичного випромінювання, вибірковість визначення досягається за допомогою селективного приймача [28].

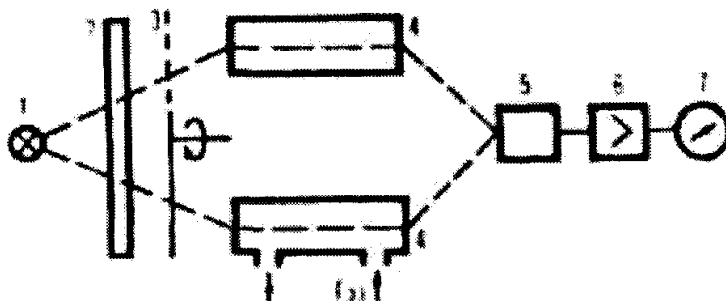


Рисунок 1.4 – Недисперсійний інфрачервоний газоаналізатор:

1 – джерело випромінювання; 2 – світлофільтр; 3 – модулятор;  
4 та 4' – відповідно робоча та зразкова кювети; 5 – приймач  
випромінювання; 6 – підсилювач; 7 – вторинний прилад

Найбільш розповсюджені газоаналізатори з газонаповненим оптикоакустичним приймачем. Останній являє собою герметичну камеру з вікном, заповнену тим газом, вміст якого треба виміряти. Цей газ, поглинаючи з потоку випромінювання певну частину з характерним для даного газу набором спектральних ліній, нагрівається, внаслідок чого тиск в камері збільшується. За допомогою механічного модулятора потік випромінювання переривається з певною частотою. В результаті з цією ж частотою пульсує тиск газу в приймачі. Амплітуда пульсації тиску – міра інтенсивності поглинутого газом випромінювання, що залежить від того, яка частина характерного випромінювання поглинається тим же газом в робочій кюветі. Інші компоненти суміші випромінювання на цих довжинах хвиль не поглинають. Таким чином, амплітуда пульсації тиску в приймачі випромінювання – міра кількості компонента, що вимірюється, в суміші, яка проходить через робочу кювету. Зміну тиску вимірюють зазвичай конденсаторним мікрофоном чи мікроанемометром. Замінюючи газ в



приймачі випромінювання оптико-акустичного газоаналізатора, можливо вибірково вимірювати вміст різноманітних компонентів сумішей. В інфрачервоних газоаналізаторах використовують також неселективні приймачі випромінювання – болометри, термобатареї, напівпровідникові елементи. Тоді у випадку джерел з широким спектром випромінювання вибірковість визначення забезпечують застосуванням інтерференційних та газових фільтрів. Для підвищення точності та стабільності вимірювання частину потоку випромінювання зазвичай пропускають через порівнюючу кювету, що заповнена газом, який не поглинає випромінювання, що реєструється, та вимірюють різницю чи відношення сигналів, отриманих в результаті проходження випромінювання через робочу та порівнюючу кювети [29]. Інфрачервоні газоаналізатори широко використовуються для контролю якості продукції, аналізу відхідних газів, повітря приміщень. З їх допомогою визначають, наприклад, CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> в технологічних газах виробництва синтетичних амміаку, оксиди азоту, SO<sub>2</sub>, CO та вуглеводні в вихлопних газах автомобілів і т.д [14].

#### 1.1.5 Струменеві газоаналізатори

Ці прилади вимірюють динамічний потік газу, що витікає з сопла. Містять два струменевих елемента типу «сопло-приймальний канал». Загальна схема струменевого газоаналізатору представлена на рисунку 1.5. Для подачі зразкового газу і того, що аналізується, служить ежектор 2. Тиск на виході з елементів підтримується регулятором 4. Рівність тисків газів на вході в елементи забезпечується з'єднуючим каналом 5 та настройкою вентилі 6. Різниця динамічних тисків, що сприймаються трубками 1б, є функцією відношення та мірою концентрації компонента газової суміші, що визначається. Струменеві газоаналізатори використовують в азотній

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

промисловості для вимірювання вмісту  $H_2$  в азоті (діапазон вимірювання 0...50%), в хлорній промисловості – для визначення  $Cl_2$  (0 – 50% та 50 – 100%). Час встановлення показань цих газоаналізаторів не перевищує декількох секунд, тому їх застосовують також в газосигналізаторах довибухових концентрацій газів та пари деяких речовин в повітрі промислових приміщень.

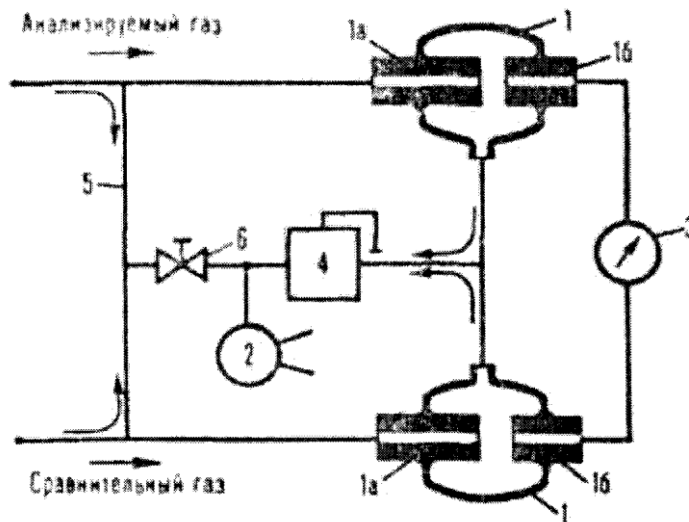


Рисунок 1.5 – Пневматичний струменевий газоаналізатор:

- 1 – елемент «сопло-приймальний канал»; 1а – сопло;  
1б – приймальна трубка; 2 – ежектор; 3 – вторинний прилад;  
4 – регулятор тиску; 5 – з'єднуючий канал; 6 – вентиль

## 1.2 Лямбда-зонд. Принцип дії електрохімічного кисневого датчику

Кисневий датчик лямбда-зонд – пристрій, призначений для фіксування кількості кисню в відпрацьованих газах двигуна автомобіля. Він розташований в випускній системі поблизу каталізатора. На основі даних, отриманих датчиком, електронний блок керування двигуном (ЕБК) коригує розрахунок оптимальної пропорції паливо-повітряної суміші. Коефіцієнт

надлишку повітря в її складі позначається в автомобілебудуванні грецькою буквою лямбда ( $\lambda$ ), завдяки чому датчик отримав другу назву - лямбда-зонд.

Коефіцієнт надлишку повітря ( $\lambda$ ) - це відношення дійсної кількості повітря, що надійшло в двигун, до теоретично необхідного (стехіометричного) для повного згоряння палива.

В залежності від значення  $\lambda$  розрізняють три види суміші:

- $\lambda = 1$  – стехіометрична суміш;
- $\lambda < 1$  – багата суміш (надлишок палива, недолік кисню);
- $\lambda > 1$  – бідна суміш (надлишок кисню, недолік палива) [4].

Сучасні двигуни можуть працювати на всіх трьох типах суміші, в залежності від поточних завдань (економія палива, інтенсивне прискорення, зниження концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах). З точки зору оптимальних значень потужності двигуна, коефіцієнт лямбда повинен мати значення близько 0,9 («багата» суміш), мінімальна витрата палива буде відповідати стехіометричній суміші ( $\lambda = 1$ ). Найкращі результати з очищення відпрацьованих газів будуть також спостерігатися при  $\lambda = 1$  [5].

Існує кілька видів лямбда-зондів, що застосовуються на сучасних автомобілях. Розглянемо конструкцію і принцип роботи найбільш популярного з них - датчика кисню на основі газонепроникної кераміки з діоксиду цирконію ( $ZrO_2$ ), що представлений на рисунку 1.6. Датчик складається з наступних основних елементів:

- зовнішній електрод, що здійснює контакт з вихлопними газами;
- внутрішній електрод, що контактує з атмосферою;
- нагрівальний елемент, що використовується для підігріву кисневого датчика і більш швидкого виведення його на робочу температуру (більше  $350^\circ C$ );
- твердий електроліт, що розташований між двома електродами (діоксид цирконію);

					БМ62.01.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

- захисний кожух наконечника, що має спеціальні отвори (перфорацію) для проникнення відпрацьованих газів [13].

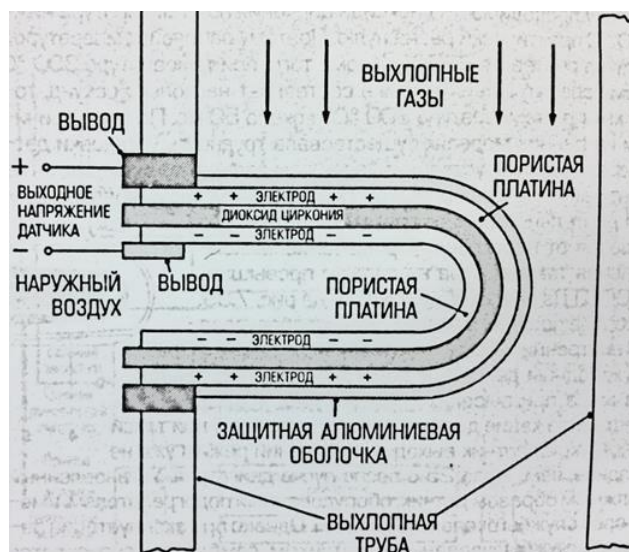


Рисунок 1.6 – Складові частини лямбда-зонда

У датчику на основі оксиду цирконію відбувається реакція відновлення двоокису цирконію  $ZrO_2$  до окису цирконію  $ZrO$ , що ініціюється платиновим каталізатором, що покриває чутливий елемент датчика і є причиною виникнення ЕРС. На поверхні датчика окислювальні процеси чергуються з відновлювальними, що забезпечує автоматичну підтримку працездатності  $\lambda$ -зонда і його високу чутливість до зміни концентрації окислюються компонентів.

Зовнішній і внутрішній електроди покриті платиновим напиленням. Принцип роботи такого лямбда зонда заснований на виникненні різниці потенціалів між шарами платини (електроди), які чутливі до кисню. Вона виникає при нагріванні електроліту, коли через нього відбувається рух іонів кисню від атмосферного повітря і вихлопних газів. Напруга, що виникає на електродах датчика, залежить від концентрації кисню у відпрацьованих газах. На рисунку 1.7 представлений графік залежності напруги від лямбди. Чим вона вища, тим нижче напруга. Діапазон напруг сигналу кисневого датчика знаходиться в межах від 100 до 900 мВ. Сигнал має синусоїдальну форму, у якій виділяються три області: від 100 до 450 мВ – бідна суміш, від

450 до 900 мВ – багата суміш, значення 450 мВ відповідає складу паливо-кисневої суміші [6].



Рисунок 1.7 – Графік залежності напруги від лямбди

Створюється велика різниця потенціалів, тому виникає більш висока напруга (0,7-0,9 В). Система управління двигуном буде безперервно підлаштовувати тривалість імпульсного сигналу під форсунки з метою вийти на середню напругу, що становить близько 0,4–0,6 В при значенні лямбда близько 1,0. Оскільки в процесі руху режими роботи двигуна постійно змінюються, значення напруги коливається в обидві сторони від середнього значення. Тому цей датчик в силу своєї нездатності визначити невеликі зміни в змісті кисню відомий як вузько смуговий [4].

## Висновки до розділу 1

Для вимірювання концентрації кисню в середовищі наразі оптимальними і найбільш перспективними є газоаналізатори на основі твердоелектролітних вимірювальних перетворювачів. Вони не мають рухомих частин, тому є надійними, мають достатню точність, і, що дуже важливо, придатні до мініатюризації, тобто малих габаритів. Завдяки

сучасній елементній базі такий пристрій можна зробити компактним і переносним. З огляду на малі розміри перетворювача, потрібна мала потужність нагрівача, щоб забезпечити робочу температуру при дослідженні складу газових сумішей за нормальних умов.

Лямбда-зонд на основі діоксиду цирконію є найбільш використовуваним типом кисневого датчика в автомобілях. Він підходить багатьом автомобілям. Діоксид цирконію при нагріванні проявляє властивості твердого електроліту та проводить іони кисню. Кераміка являє собою гальванічне джерело струму, яке змінює свою напругу в залежності від температури та наявності кисню в навколишньому середовищі.

Недоліком даного електрохімічного датчика є неможливість його використання як широкодіапазонного датчика кисню. Крім цього, низькоточний електрод порівняння, яким є повітря, не дозволяє підвищити точність вимірів. Тому основною задачею є конструювання датчика, що буде мати більш широкий діапазон вимірювання кисню та суттєво підвищить точність вимірів за рахунок створення високоточного електроду порівняння.

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

## РОЗДІЛ 2

### ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Загальний огляд твердоелектролітного комбінованого вимірювального перетворювача

##### 2.1.1 Технічні характеристики ТЕКВП

У таблиці 2.1 наведені технічні характеристики ТЕКВП.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ТЕКВП

Діапазон вимірювальних тисків	0 – 100%
Температурний діапазон, К	873 – 1173 К
Вихідний вимірювальний сигнал	До 1,2 В
Струм дозування	0 – 0,3 А
Споживча потужність	1 – 1,5 Вт
Напруга живлення	0,5 – 1,8 В
Похибка вимірювання	0,5 %
Габаритні розміри	30x30x90 мм

Температурний діапазон роботи газоаналізатору обумовлений температурним діапазоном роботи твердого електроліту цирконію. Вихідний вимірювальний сигнал створюється на зовнішніх електродах потенціометричної зони, чисельні значення якого знімаються вольтметром або електронною системою зняття та обробки даних. Струм дозування та напруга живлення подаються на внутрішні електроди кулонометричної зони. Маленька похибка вимірювань обумовлена високою точністю вимірювань газоаналізатором. В ньому присутня опорна газова область, яка насичена стопроцентним чистим киснем і за допомогою якої відбувається виміри концентрації кисню у зовнішньому вимірювальному середовищі [19].

В основу корисної моделі поставлене завдання створити електрохімічний датчик кисню та двоокису вуглецю на базі цирконієвого датчика кисню (лямбда-зонда). Поставлене завдання досягається тим, що в цирконієвий датчик кисню, що містить в собі цирконієву пробірку з нанесеними електродами, буде додана ще одна пробірка з електродами, при

цьому між ними буде негазощільне з'єднання. Виконання датчика у вигляді двох пробірок дозволяє суттєво підвищити точність вимірів за рахунок створення високоточного електроду порівняння [16].

Комбінація потенціометричного та кулонометричного режимів роботи твердого електроліту дозволяє створити у газонепроникному внутрішньому просторі твердого електроліту опорну газову область, яка промивається, дозволяє істотно підвищити точність вимірювання концентрації кисню у вимірюваному середовищі та поліпшити конструкцію вимірювального перетворювача. Опорна газова область – це стопроцентний по кисню газовий електрод порівняння. Парціальний тиск та концентрація кисню буде вимірюватися по точній характеристиці Нернста, що розраховується вимірюванням ЕРС потенціометричної електрохімічної зони [20].

Поєднання режимів дає також змогу виміряти температуру. Робочий температурний діапазон визначається температурним діапазоном роботи твердого електроліту (600-900 градусів °C), тому система не потребує термостабілізації. А наявність в електрохімічно активній зоні автономного нагрівача дозволяє суттєво розширити температурний діапазон вимірювального середовища. Використання опорної газової області обмеженого об'єму, і малі габарити чутливого елемента (зовнішній діаметр 0,5-0,8 см, довжина 1-1,5 см) – при невеликих енерговитратах, дають можливість створити однакові температурні умови для обох електрохімічних зон, що в свою чергу, приводить до зниження температурної похибки (до 0,5%). Крім того, підвищується надійність і рівень уніфікації конструкції в цілому [21].

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24



### 2.1.2 Будова потенціометричної зони (осередку)

Найпоширені форми чутливого елемента - таблетка й пробірка. Більше вигідної технологічно є пробірка, тому що вона має низьку кисневу проникність стінок та більшу механічну та температурну стійкість до перепадів температур.

На рисунку 2.1 зображена конструкція потенціометричного твердоелектролітного осередку.

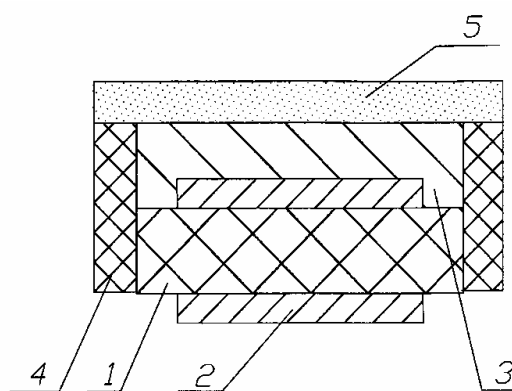


Рисунок 2.1 – Конструкція потенціометричного твердоелектролітного осередку: 1 – твердий електроліт; 2 – електроди; 3 – каталітичний шар; 4 – кисневонепроникне покриття; 5 – захисний шар

У якості електродів використовується платиновий електрод, нанесений на робочі поверхні твердоелектролітного осередку. У якості каталізатора електрохімічеській реакції, що протікає на границі трьох фаз, до складу електродів додається невелика кількість палладія (0,001-0,01 % по масі). Найбільш оптимальна площа повинна складати 40 % від площі робочої поверхні твердого електроліта, а товщина цього каталітичного шару приблизно 50 мкм [8].

Поверхня обов'язкового вимірювального електрода має захисне покриття для запобігання засмічування електрода, що являє собою шар фторопласти, проникний для кисню.

Задля виключення кисневої проникності неробочі бічні поверхні покриваються високотемпературним кисневонепроникним покриттям з високотемпературною стійкою емаллю на основі оксиду алюмінію. Найбільш оптимальна температура для таблетки 900 °C [19].

### 2.1.3 Будова кулонометричної зони (осередку)

Окрім полікристалів кераміки, з плином часу було отримано ряд монокристалів кераміки на основі цирконія і гафнія, що вдало були застосовані у потенціо- та кулонометричних осередках. Перевага монокристалів - вони мають практично відсутність кисневої проникності; більша структурна стабільність внаслідок відсутності процесів на границях зерен; висока термостійкість [9].

Вимоги до розміру пробірки, виготовлення електродів та їхнього захисного покриття такі ж, як у потенціометричних осередків. У кулонометричного осередка немає каталітичної властивості, на відміну від потенціометричного. Платина являє собою каталізатор, тому для відсутності каталітичної реакції у склад осередка додається каталітична отрута, яка буває двох видів:

- Свинець, сірка або фосфор по масі 0,02 – 0,1%;
- Платина або миш'як.

Задля виключення кисневої проникності неробочі бічні поверхні покриваються високотемпературним кисневонепроникним покриттям з високотемпературною стійкою емаллю на основі оксиду алюмінію. Найбільш оптимальна температура для таблетки 900 °C [19].

					БМ62.01.2505.1191	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.2 зображена конструкція кулонометричного твердоелектролітного осередку [18].

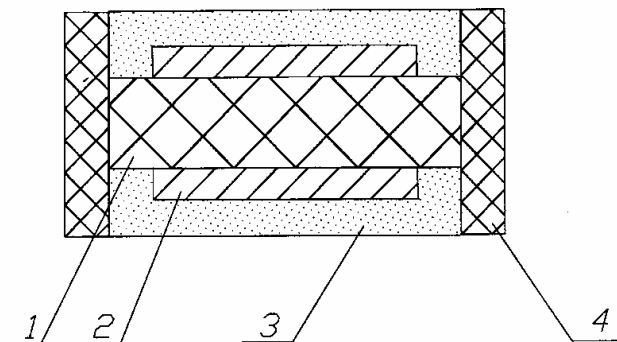


Рисунок 2.2 – Конструкція кулонометричного твердоелектролітного осередку: 1 – твердий електроліт; 2 – електроди; 3 – захисний кисневонепроникний шар; 4 – кисневонепроникне покриття

## 2.2 Технологія виготовлення дослідницького зразка

Електроди оброблюються срібною пастою, що виготовляється зі срібного порошка (10 г), каніфолі (0,25 г) та скіпідару (0,1 г). Розчинити каніфоль у скіпідарі, додати срібло та ретельно перемішати.

Чутливий елемент виготовляється таким чином. Дві пробирки промиваються у мильній воді та обеззаражуються спиртом. На внутрішню і зовнішню сторони пробірки нанести пензлем срібну масу а закріпити оброблені електроди срібною проволокою ( $d = 0,2 \div 0,3$  мм). Закріпити зразок чутливого елемента в муфельній печі. Поступово нагріваємо його протягом 20 хвилин до  $750^{\circ}\text{C}$  і витримати протягом 5 хвилин. Потім в режимі самоохолодження охолодити муфельну піч до  $20^{\circ}\text{C}$  (кімнатна температура). Дістати з печі готовий зразок. Готовий зразок представлений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Розроблений дослідницький зразок ТЕКВП (трьохелектродна конструкція типу «пробірка»)

Нагрівач: на приготовлену внутрішню керамічну трубку ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) намотати промиту в мильній воді та обеззаражену спиртом ніхромову проволочку ( $d = 1$  мм) в щільності 25 витків. Одягнути приготовлену аналогічну (зовнішню керамічну трубку ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )) з отвором в нижній частині на внутрішню трубку з ніхромом проволочкою. Краї замазати замазкою (порошок з оксиду алюмінію, розчинений в концентрованому силікатному клеї) і дати просохнутися. Вільні кінці ніхромової проволочки вивести через отвір назовні.

Технологія складання дослідницького зразка ТЕКВП: розмістити в корпусі чутливий елемент. Розпаяти виводи чутливого елементу на високотемпературному роз'ємі вимокотемпературним припоєм (припой на основі Ag). Нагвинтити корпус на роз'єм. Закріпити на корпусі нагрівач поверх чутливого елементу. Протягнути вільні кінці ніхромової проволочки через отвір в кришці і протягнути їх через керамічний ізолятор. Нагвинтити кришку з нагрівачем на корпус. Провести тестові випробування.

Зокрема, готовий зразок вставляється у металевий корпус для захисту від механічних пошкоджень із зовнішнього середовища. Металевий кожух представлений на рисунках 2.4 та 2.5.



Рисунок 2.4 – Розроблений дослідницький зразок ТЕКВП у металевому корпусі без нагрівача



Рисунок 2.5 – Розроблений дослідницький зразок ТЕКВП у металевому корпусі з нагрівачем

До вхідної частини газоаналізатору під'єднується дріт, що підключається до джерела напруги, акумулятору. Повністю готовий зразок представлений на рисунках 2.6, 2.7 та 2.8.



Рисунок 2.6 – Розроблений дослідницький зразок ТЕКВП у металевому корпусі з нагрівачем та дротом напруги (фото зліва)



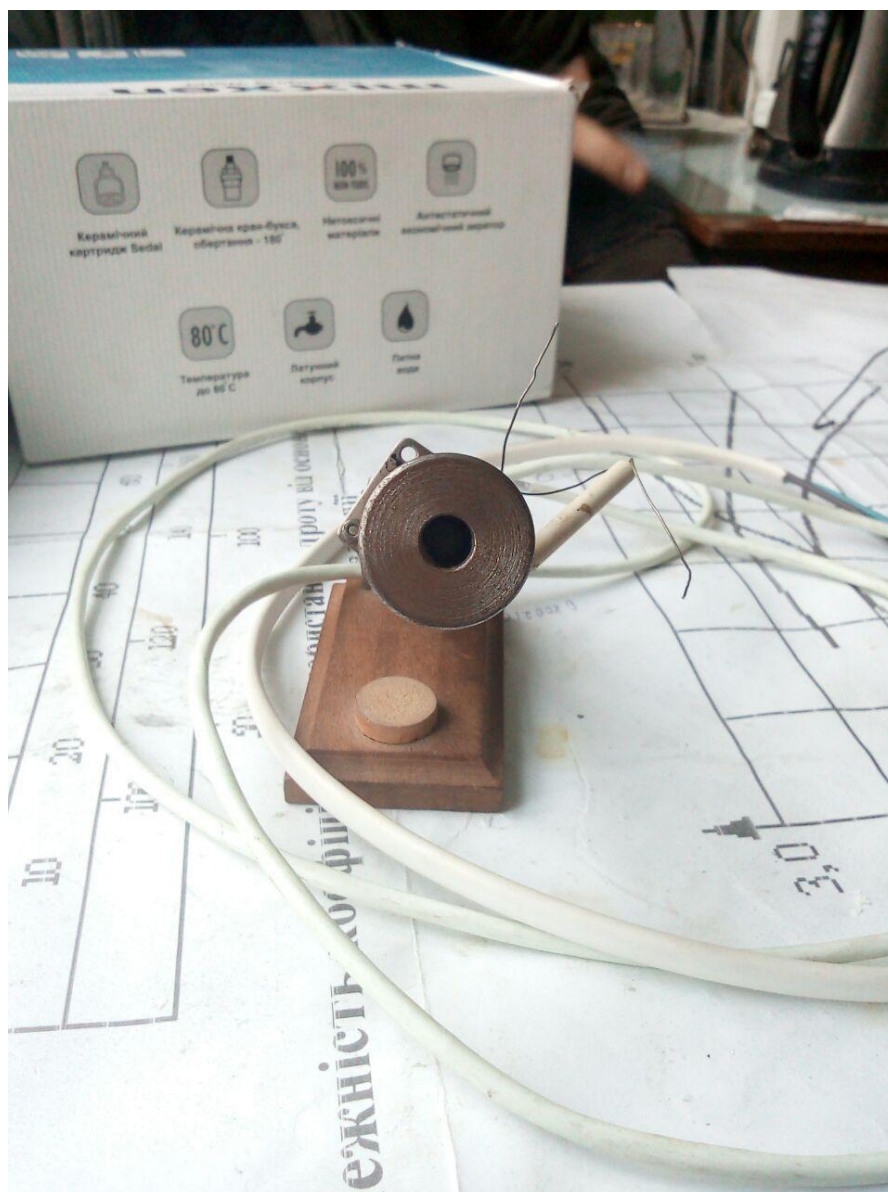


Рисунок 2.7 – Розроблений дослідницький зразок ТЕКВП у металевому корпусі з нагрівачем та дротом напруги (фото спереду)



Рисунок 2.8 – Розроблений дослідницький зразок ТЕКВП у металевому корпусі з нагрівачем та дротом напруги (фото праворуч)

На схемі на рисунку 2.9 приведена конструкція електрохімічного датчика кисню. Він складається із двох твердоелектролітичних пробірок 1 і 2. Негазощільна керамічна вставка 3 з обох боків разом з пробірками 1 і 2 утворюють систему капілярів. Пробірки 1, 2 утворюють опорний газовий простір 4, що промивається. На пробірці 1 нанесені срібні електроди 5 і 6. При чому електрод 5 контактує з вимірювальним середовищем, а електрод 6 з опорним газовим простором 4. Аналогічно на пробірці 2 виконані срібні електроди 7 і 8. Пробірка 2, електроди 7 і 8 утворюють кулонометричну



електрохімічну зону. А пробірка 1, електроди 5, 6 і опорний газовий простір 4 утворюють потенціометричну електрохімічну зону. В обох зонах знаходиться чутливий елемент з діоксида цирконію 9. Капіляри 3 з'єднані з зовнішньою атмосферою. Для забезпечення робочої температури при необхідності датчик оснащено нагрівачем 10.

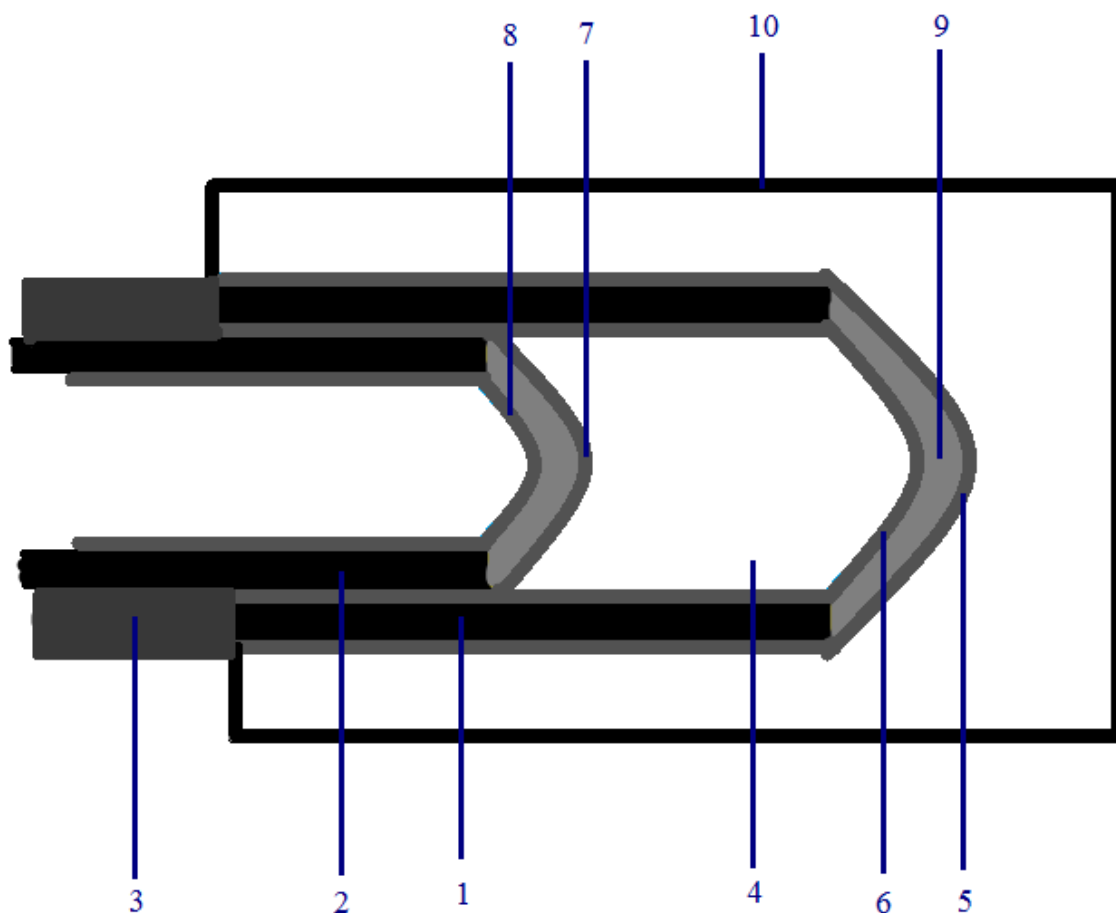


Рисунок 2.9 – Схема конструкції електрохімічного датчика кисню, розроблена у графічному редакторі Paint

Датчик працює таким чином. При підведенні напруги живлення до електродів 7 і 8 електричний заряд, що подається, іде на перезарядження подвійного електричного шару, а потім приймає участь в дозуванні кисню. На електроді 8, що заряджається негативно, відбувається дисоціація молекулярного кисню на атоми та їх іонізація, що протікає на межі трьох фаз: твердо електролітної пробірки 2 – негативно зарядженого електроду 8 –

газового середовища. Під дією електричного поля виникає дифузія кисню через твердий електроліт до позитивно зарядженого електроду 7. На ньому іони кисню звільняються від надлишкового заряду і відновлюються до молекулярного кисню, підвищуючи концентрацію кисню в опорному газовому просторі. За рахунок перепаду загальних тисків в опорному газовому просторі і вимірювальному середовищі через капіляр 5 проходить вимивання атмосфери опорного газового простору киснем, що поступає від кулонометричної електрохімічної зони. Після подачі кисню в кількості 8-10 разів перевищуючої об'єм опорного газового простору початкове утворене середовище опорного газового простору повністю заміщується киснем, утворюючи 100%-й електрод порівняння. Необхідний час такої подачі кисню є часом підготовки датчика до роботи, що контролюється потенціометричною електрохімічною зоною. При подачі газу молекули кисню контактують з вимірювальним електродом 5 потенціометричної електрохімічної зони, адсорбуються на його поверхні. Потім відбувається дисоціація молекулярного кисню на атоми і їх іонізація, що протікає на межі поділу трьох середовищ: твердо електролітної пробірки 1 – вимірювального електроду 5 – газового середовища, завдяки високій температурі твердого електроліту і каталітичним властивостям електроду 5. Утворені іони кисню, під дією різниці хімічних потенціалів між електродами 5 і 6, внаслідок іонної провідності твердого електроліту, утворюють рівноважний стан потенціометричної електрохімічної зони. В результаті між електродами виникає ЕРС, що визначається рівнянням Нернста (2.1):

$$E = \frac{RT}{nF} \cdot \ln \left( \frac{P_{O_2}^n}{P_{O_2}^b} \right), \quad (2.1)$$

де  $E$  – ЕРС Нернста;

$R$  – газова стала;

					БМ62.01.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

$T$  – температура;

$n$  – кількість електронів, необхідна для іонізації однієї молекули кисню;

$F$  – стала Фарадея;

$P_{O_2}^n = 100\%$  – парціальний тиск кисню в опорній газовій області;

$P_{O_2}^b$  – парціальний тиск кисню в вимірювальному газовому середовищі.

Із формули 2.1 визначається парціальний тиск кисню у вимірюваному середовищі за формулою 2.2:

$$P_{O_2}^b = P_{O_2}^n \cdot e^{\left(-\frac{RT}{EnF}\right)}, \quad (2.2)$$

де  $e$  – число Ейлера.

### 2.3 Метод вимірювання за кисневим 100% електродом

Метод полягає у наступному. До герметичної камери підключаються балони с різною концентрацією кисню. Відомо, що це за концентрації. Також до камери підключається кисневий газоаналізатор. Кожного разу, при кожній концентрації газоаналізатору, знімається вольтметром експериментальне значення ЕРС Нернста з електродів. Теоретичне значення ЕРС Нернста визначається за формулою 2.3:

$$E_n = -\frac{RT \ln\left(\frac{100}{P}\right)}{Fn}. \quad (2.3)$$

Експериментально визначені, теоретично підраховані результати ЕРС Нернста та концентрації кисню у герметичній камері наведені у таблиці 2.2.

					БМ62.01.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.2 – Експериментальне дослідження газоаналізатору

P, %.	E <sub>H</sub> , мВ (теор.)	E <sub>H</sub> , мВ (експ.)
70	7,670	7,666
72,5	6,928	6,924
75	6,193	6,195
77,5	5,480	5,483
80	4,804	4,808
82,5	4,147	4,143
85	3,500	3,498
87,5	2,878	2,879
90	2,260	2,262
92,5	1,679	1,676
95	1,100	1,103
97,5	0,547	0,549
99,95	0,012	0,018

З таблиці 2.2 видно, що теоретичні та експериментальні значення ЕРС співпадають з високою точністю, що говорить про дієвість газоаналізатору. Значення коливаються в межах похибки 0,5%. ЕРС Нернста при цьому методі вимірювання зростає із зменшенням концентрації кисню у вимірюваному середовищі, що й зумовлює знак мінус у формулі.

На рисунку 2.10 представлено графік залежності парціального тиску кисню в герметичній камері в різних випадках вимірювання від експериментально визначених значень ЕРС.

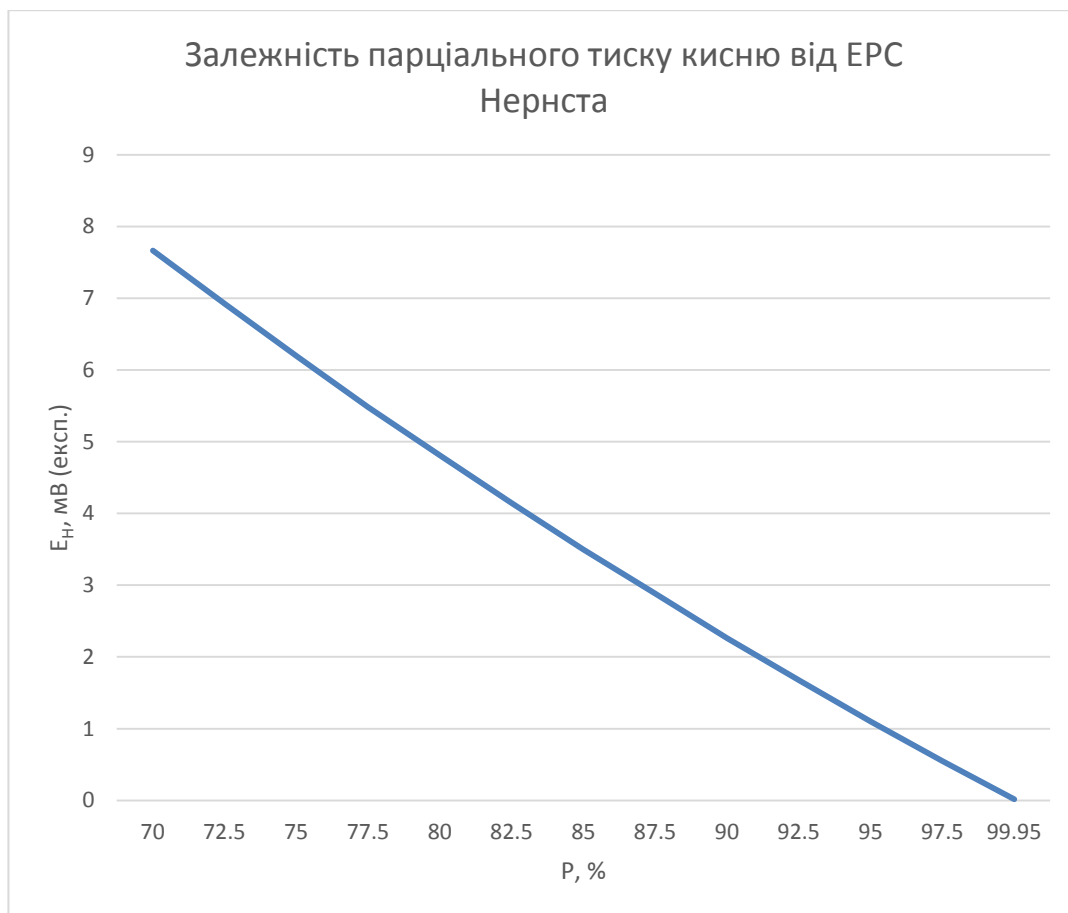


Рисунок 2.10 – Залежність парціального тиску кисню від  
експериментального ЕРС Нернста

## Висновки до розділу 2

Виготовлений твердоелектролітний датчик кисню може забезпечити дуже точний розрахунок концентрації кисню у зовнішньому середовищі за рахунок 100% газового електроду порівняння, створюється високостабільна опорна газова область для умов високотемпературного електролізу на базі твердих електролітів. Похибка отримання і виміру кисню знижується до 0,5 %. Крім того досягається температурна однорідність всіх електродів, підвищується швидкодія в режимі електролізу і виміру кисню, а також поліпшується надійність, підвищується ступінь уніфікації. Підвищення швидкодії, надійності і мале енергопостачання, що обумовлені конструктивним виконанням елементів датчику і їх габаритами, в свою чергу, дозволяє підвищити якість контролюючого режиму і зменшити енерговитрати, що забезпечують працездатність датчику в температурному діапазоні (600...900 градусів С), що визначається температурним діапазоном роботи твердого електроліту.

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Даний дипломний проект виконується на базі НТУУ «КПІ імені І. Сікорського».

У даній дипломній роботі проектується біомедичний твердоелектролітний переносний газоаналізатор кисню.

Метою даного розділу є виявлення, оцінка потенційно небезпечних та шкідливих факторів, що створюються технологічними процесами під час проектування і тестування газоаналізатору, та заходи щодо їх усунення

#### 3.1 Характеристики об'єкту, що проектується

##### 3.1.1 Характеристики об'єкту

Біомедичний твердоелектролітний переносний газоаналізатор кисню використовується для контролю концентрації кисню у приміщеннях медичних закладів для комфортного перебування пацієнтів та персоналу, для приготування легеневих інгаляційних сумішей, в яких потребується висока концентрація кисню. Даний портативний прилад має високу точність завдяки наявності опорного газового середовища з абсолютно чистим киснем. Основні технічні характеристики газоаналізатору наведені в таблиці 3.1.

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики об'єкту

№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	К-ть	Позиція на рисунку
1.	Твердоелектролітний комбінований вимірювальний перетворювач	Діапазон вимірювальних тисків: 0 – 100% об.; Температурний діапазон: 873 – 1173 К; Тихідний вимірювальний сигнал: до 1,2 В; Струм дозування: 0 – 0,3 А; Споживча потужність: 1 – 1,5 Вт; Напруга живлення: 1,8 В; Похибка вимірювання: 0,5 %; Габаритні розміри: 30x30x90 мм.	1	-
2.	Акумулятор	Вхідна напруга: 1,8 В	1	1
3.	Негативний електрод	Вхідна потужність: 1,5 Вт Вхідна напруга: 1,8 В Матеріал: срібло	1	3
4.	Чутливий елемент	Температурний діапазон: 873 – 1173 К; Матеріал: оксид цирконію	2	4,8
5.	Позитивний електрод	Вхідна потужність: 1,5 Вт Вхідна напруга: 1,8 В Матеріал: срібло	1	5
6.	Нейтральний електрод	Вихідна потужність: 1 Вт Вихідна напруга: до 1,2 В Матеріал: срібло	2	7,9
7.	Нагрівач	Максимальна потужність: 1,5 Вт Максимальна напруга: 1,8 В Температурний діапазон: 873 – 1173 К;	1	11

## 3.1.2 Складові частини об'єкту

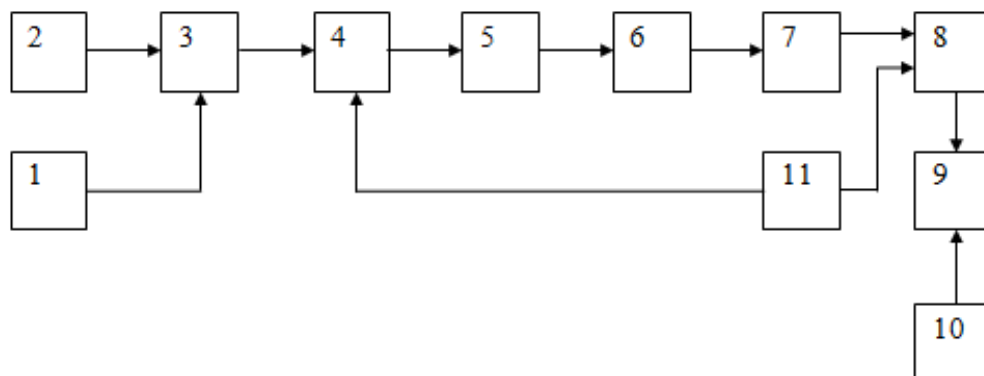


Рисунок 3.1 – Складові частини твёрдоелектролітного газоанализатора



На рисунку 3.1 наведені такі складові частини твердоелектролітного газоаналізатору: 1 – акумулятор із вбудованим індикатором напруги; 2, 10 – атмосферне повітря; 3 – негативний електрод; 4 – чутливий елемент (твердий електроліт); 5 – позитивний електрод; 6 – опорне газове середовище; 7 – нейтральний електрод; 8 – чутливий елемент (твердий електроліт); 9 – нейтральний електрод; 11 – нагрівач.

### 3.1.3 Характер взаємодії об'єкту в системі «людина – об'єкт»

Засоби контролю газоаналізатору та отримання інформації про його роботу представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Взаємодія об'єкту в системі «людина – об'єкт»

№	Найменування функціонального блока	Вид відображення інформації	Кількість
1.	Нейтральні електроди	Інформація про різницю потенціалів (ЕРС Нернста) за допомогою вольтметра	2
2.	Акумулятор	Інформація про кількість напруги, що подається, завдяки індикатору напруги	1

3.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються конструкцією об'єкту, який проектується, та заходи їх усунення.

#### 3.2.1 Теплові джерела небезпеки

Причини і наслідки, основні джерела теплових небезпек, реальні та нормативні фактори та заходи усунення теплових небезпек наведено у таблицях 3.3, 3.4 та 3.5 відповідно.

Нормативні значення були приведені згідно ГОСТу 51337 «Опіковий поріг, небезпека опіку в залежності від температури, часу контакту і типу поверхні – металу, кераміки, скла і каменю, пластмас і еластомерів, дерева».

Таблиця 3.3 – Основні джерела теплових небезпек

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Нагрівач	Нагрівальний елемент	Висока температура	Опіки користувача

Таблиця 3.4 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Температура нагрівача	600 – 900 °C	51 °C

Таблиця 3.5 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Захисний кожух для нагрівача з нержавіючої сталі (коеф. теплопровід. = 15 Вт/(м*К))	Доступний матеріал з мінімальним коеф. теплопровідності
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації	Навчання з питань безпеки при експлуатації приладу
3.	Режимні	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні	Тест приладу після налаштування перед першим застосуванням	Індивідуальні параметри роботи пристрою
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

### 3.2.2 Небезпека враження людини електричним струмом

Причини та наслідки небезпеки враження людини електричним струмом, порівняння реальних та нормативних значень фактору небезпеки та заходи по уникненню враження електричним струмом приведені у таблицях 3.6, 3.7 та 3.8 відповідно.

Нормативні значення були приведені згідно ДСТУ 12.1.038:2008 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруг дотику і струмів».

Таблиця 3.6 – Небезпеки ураження електричним струмом

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Акумулятор	Напруга	Пошкодження ізоляції дроту, несправність приладу	Ураження струмом, опіки користувача

Таблиця 3.7 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Контакт напруги з тілом	1,8 В	8 В

Таблиця 3.8 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Гумова ізоляція дротів	Унеможливлення контакту з частинами під напругою
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації приладу	Навчання з питань безпеки при експлуатації приладу
3.	Режимні	Перевірка несправностей акумулятору або дротів тільки у вимкненому стані	Уникнення контакту з елементами під напругою
4.	Експлуатаційні	Регулярні технічний огляд та сервісне обслуговування приладу	Забезпечення безпечної роботи з приладом
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

### 3.2.3 Небезпека пожежі

Причини та наслідки пожежної небезпеки, порівняння реальних та нормативних значень фактору небезпеки та заходи по уникненню пожежної небезпеки приведені у таблицях 4.9, 4.10 та 4.11 відповідно.

Нормативні значення були приведені згідно ГОСТу 12.1.010 «Система стандартів безпечності праці. Вибухонебезпечність. Загальні положення».

Таблиця 3.9 – Небезпеки пожежного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Нагрівач	Нагрівальний елемент	Висока температура	Займання пожежі

Таблиця 3.10 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Температура нагрівача	600 – 900 °С	Клас пожежі Е

Таблиця 3.11 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Захисний кожух для нагрівача з нержавіючої сталі (коеф. теплопровід. = 15 Вт/(м*К))	Доступний матеріал з мінімальним коеф. теплопровідності
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації	Навчання з питань безпеки при експлуатації приладу
3.	Режимні	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні	Регулярне проведення перевірки нагрівача	Перевірка надійності та справності нагрівача
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

### 3.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки при експлуатації спроектованого об'єкту»

#### Загальні положення до експлуатації:

- перед початком роботи необхідно перевірити пристрій, дроти та давач напруги, щоб переконатися в їх нормальному і безпечному робочому стані;
- уникати прямого контакту з водою та іншими рідинами;
- уникати прямого контакту сонячних променів, бо пристрій може вийти з ладу через перенагрівання;

- не подавати на пристрій напругу, що вища 1,8 В;
- не торкатися нагрівача під час роботи приладу.

Інструкція з використання:

- підключити вольтметр до зовнішніх нейтральних електродів;
- ввімкнути акумулятор з напругою 1,8 В;
- почекати декілька хвилин, поки датчик нажене чистий кисень в опорну газову область (це можна буде перевірити за вольтметром);
- зняти (занотувати) показання вольтметра, коли вони перестануть змінюватися і будуть сталими.

### Висновки до розділу 3

У даному розділі було розглянуто та оцінено потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що створюються конструкцією біомедичного твердоелектролітного переносного газоаналізатора кисню, та заходи їх усунення. Основними небезпеками є: висока температура нагрівача, можливе ураження електричним струмом та займання пристрою у разі несправності блоку живлення.

Було розроблено інструкцію по техніці безпеки при експлуатації спроектованого об'єкту.

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

## ВИСНОВКИ

Для вимірювання концентрації кисню в середовищі наразі оптимальними і найбільш перспективними є газоаналізатори на основі твердоелектролітних вимірювальних перетворювачів. Вони не мають рухомих частин, тому є надійними, мають достатню точність, і, що дуже важливо, придатні до мініатюризації, тобто малих габаритів. Завдяки сучасній елементній базі такий пристрій можна зробити компактним і переносним. З огляду на малі розміри перетворювача, потрібна мала потужність нагрівача, щоб забезпечити робочу температуру при дослідженні складу газових сумішей за нормальних умов.

У дипломній роботі на тему «Біомедичний твердоелектролітний переносний газоаналізатор кисню» був розроблений експериментальний зразок ТЕКВП. Виготовлений твердоелектролітний датчик кисню може забезпечити дуже точний розрахунок концентрації кисню у зовнішньому середовищі за рахунок 100% газового електроду порівняння, створюється високостабільна опорна газова область для умов високотемпературного електролізу на базі твердих електролітів. Похибка отримання і виміру кисню становить 0,5 %. Крім того досягається температурна однорідність всіх електродів, підвищується швидкодія в режимі електролізу і виміру кисню, а також поліпшується надійність, підвищується ступінь уніфікації. Підвищення швидкодії, надійності і мале енергопостачання, що обумовлені конструктивним виконанням елементів датчику і їх габаритами, в свою чергу, дозволяє підвищити якість контролюючого режиму і зменшити енерговитрати, що забезпечують працездатність датчику в температурному діапазоні (600...900 градусів С), що визначається температурним діапазоном роботи твердого електроліту.

					БМ62.01.2505.1191	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Типы кислородных газоанализаторов [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: [http://eurolabgas.ru/typy\\_gazoanalizatorov](http://eurolabgas.ru/typy_gazoanalizatorov). Дата звернення: 13.04.2020
2. Классификация газоанализаторов [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.gazoanalizators.ru/poleznoe.html&art=28>. Дата звернення: 14.04.2020
3. Назначение и виды газоанализаторов [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа до ресурсу: [https://komiinform.ru/page/novosti\\_i\\_trendy.2.naznachenie\\_i\\_vidy\\_gazoanalizatorov/](https://komiinform.ru/page/novosti_i_trendy.2.naznachenie_i_vidy_gazoanalizatorov/). Дата звернення: 15.04.2020
4. Кислородный датчик лямбда-зонд: устройство и принцип работы [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://techautoport.ru/dvigatel/vypusknaya-sistema/kislorodnyi-datchik.html>. Дата звернення: 16.04.2020
5. Лямбда-зонд. Описание, диагностика, проблемы [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.drive2.ru/b/2315775/>. Дата звернення: 17.04.2020
6. Лямбда-зонд [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.drive2.ru/b/1223283/>. Дата звернення: 18.04.2020
7. Гитис Э. И., Пискулов Е. А. Твердые электролиты. – М: Энергоатомиздат, 2010. – 360 с.: ил.
8. Григорьян С.Г. „Конструирование гальванических систем” – Москва: „Феникс”, 303 стор., 2009.
9. Гринфилд Дж. Устройство гальванического элемента, их виды ИС. М.: Мир. 2016.-557с.

					БМ62.01.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

10. Горелик Д.О., Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов: Аэроаналитические измерения / Д.О. Горелик, Л.А. Конопелько - М.: Изд-во стандартов, 2008. - 432с.

11. Готтлиб И.М. Источники питания. Электрика. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2011.

12. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 2014. – 622 с.: ил.

13. Кислород и его свойства [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.alhimik.ru/teleclass/konspect/konsp4-08.shtml>. Дата звернення: 20.04.2020

14. Прохождение газов через электролиты различной природы [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.nkj.ru/archive/articles/9099/>. Дата звернення: 24.04.2020

15. Гутников В. С. Свойства электролитов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 2012. – 304 с.: ил.

16. Евстифеев А.В. „Твердоэлектролитные сплавы” – Москва: „МК-Пресс”, 560 стор., 2005.

17. Коломбет Е. А. Будова кулонометричних осередків. – М.: Радио и связь, 2010. – 376 с.: ил

18. Мэк Р. Будова потенціометричних осередків. Пер. с англ. – М: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 272 с. с ил.

19. Системный анализ контроля и управления качеством воздуха и воды / Под ред. А. В., Кафаров В. В., Качиашвили К. И. - Киев: Наукова думка, 2012.- 360 с.

20. Титце У., Шенк К. Твердоелектролітна кераміка. Пер с нем. – М,:Мир 2013. 512 с., ил.

21. Троц А.А. ”Високотемпературне твердоелектролітні комбінированые измерительные преобразователи парціального давления

					БМ62.01.2505.1191	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



кислорода” Киев “Киевский национальный университет биоресурсів та природокористування” 1993г.-199 с.

22. Магнитодинамический газоанализатор на кислород [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/magnitodinamicheskiy-gazoanalizator-na-kislород>. Дата звернення: 27.04.2020

23. Газоанализаторы в медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eksis.ru/materials/articles/gazoanalizatory-v-medicine.php>. Дата звернення: 30.04.2020

24. Газоанализаторы для медицинских учреждений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rikenkeiki.ru/for-clients/useful/gazoanalizatory-dlya-meditsinskikh-uchrezhdeniy/>. Дата звернення: 01.05.2020

25. Оксид алюминия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ido.tsu.ru/schools/chem/data/res/neorg/uchpos/text/g4\\_4\\_6.html](https://ido.tsu.ru/schools/chem/data/res/neorg/uchpos/text/g4_4_6.html). Дата звернення: 05.05.2020

26. Свойства оксида алюминия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.metmk.com.ua/114spr\\_alum.php](https://www.metmk.com.ua/114spr_alum.php). Дата звернення: 06.05.2020

27. Плотников Л. С. Свойства пористой керамики. – 1-е изд., перераб. и доп. – М.: Литрес, 2012. – 306 с.: ил.

28. Системный анализ контроля прохождения воздуха / Под ред. Мишин А. В., Кадаров В. Л., Орлов Ф. И. - Киев: Наукова думка, 2010.- 310 с.

29. Мостовая Д.О., Лурцев Л.А. Загрязнение окружающей среды: Аэроаналитические измерения / Д.О. Мостовая, Л.А. Лурцев - М.: Эксмо, 2008. – 500 с.

30. Твёрдые электролиты: строение, перспективы применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://articlekz.com/article/12217>. Дата звернення: 07.05.2020

					БМ62.01.2505.1191	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Ионные проводники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/materials/8ionn.pdf>. Дата звернення: 09.05.2020

32. Электролиты твёрдые [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/5308.html>. Дата звернення: 10.05.2020

33. Химико-физические свойства серебра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metall-discont.ru/informacziya-o-zolote/svojstva-serebra.html>. Дата звернення: 13.05.2020

34. Основы электрохимии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/566/40566/files/1376.pdf>. Дата звернення: 15.05.2020

					<b>БМ62.01.2505.1191</b>	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		